

С. В. СТРИМОВСКИЙ**РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ С ЭЛЕКТРО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ ДЛЯ ВОЕННЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН**

В статье предложена структурная схема построения гибридной силовой установки с электромеханической трансмиссией для военных колесных машин и обоснована актуальность ее внедрения. Проведен анализ технических характеристик современного тягового электрооборудования для транспортных машин. Определены направления дальнейших работ по разработке составных частей гибридной силовой установки с электромеханической трансмиссией для военных колесных машин.

Ключевые слова: гибридная силовая установка, электромеханическая трансмиссия, тяговый электродвигатель, накопитель электрической энергии.

С. В. СТРИМОВСЬКИЙ**РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ З ЕЛЕКТРО-МЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ КОЛІСНИХ МАШИН**

У статті запропонована структурна схема побудови гібридної силовой установки з електромеханічною трансмісією для військових колісних машин та обґрунтована актуальність її впровадження. Проведено аналіз технічних характеристик сучасного тягового електрообладнання для транспортних машин. Визначено напрямки подальших робіт з розробки складових частин гібридної силовой установки з електромеханічною трансмісією для військових колісних машин.

Ключові слова: гібридна силова установка, електромеханічна трансмісія, тяговий електродвигун, накопичувач електричної енергії.

S. V. STRIMOVSKIY**THE DEVELOPING HYBRID POWER PLANT WITH ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION FOR THE MILITARY WHEELED VEHICLES**

In article the propose structure chart building hybrid power plant with electromechanical transmission for the military wheeled vehicles and substantiate relevance her introduction. The carrying out analysis features modern traction electrical equipment for the vehicles. The established direction furthest works on the developing constituents hybrid power plant with electromechanical transmission for the military wheeled vehicles.

Keywords: hybrid power plant, electromechanical transmission, traction motor, electric energy storage.

1. Введение и актуальность темы. Одним из перспективных направлений повышения тактико-технических характеристик военных колесных машин (ВКМ) является разработка и внедрение гибридной силовой установки (ГСУ) с электромеханической трансмиссией (ЭМТ) вместо применяемых на ВКМ силовых установок с дизельным двигателем и автоматизированной гидромеханической трансмиссией (ГМТ) [1]. Это связано с тем, что ЭМТ, выполненная по последовательной схеме, в сравнении с трансмиссиями на изделиях Дозор-Б, БТР-3, БТР-4 позволяет повысить маневренность ВКМ за счет приобретения возможности выполнять поворот и разворот с радиусом равным половине ширины колеи. Повысить проходимость при преодолении препятствий и движении по неровным дорогам, мягким грунтам благодаря выполнению индивидуального управления потоками мощности на ведущих колесах и их перераспределения. Повысить безопасность движения на высоких скоростях и среднюю скорость движения на автомобильных дорогах за счет реализации функции курсовой устойчивости ВКМ в системе управления ЭМТ. Выполнять движение ВКМ с одинаковой скоростью вперед-назад, что позволит быстрее достичь укрытия при отступлении, не разворачивая ВКМ. Реализовать дистанционное управление движением ВКМ. Данная функция дает возможность выполнить дублированное управление движением из боевого отделения, что необходимо в случае поражения

механика-водителя в отделении управления, и в дальнейшем создать систему комплексного управления ВКМ для выполнения дистанционного ведения боя.

Однако, среди большого количества достоинств ЭМТ имеет существенный недостаток – меньшее значение (на 12..15%) коэффициента полезного действия (КПД) по передаче мощности от дизельного двигателя к ведущим колесам в сравнении с величиной КПД автоматизированной ГМТ. По этой причине у ВКМ с дизельным двигателем и ЭМТ величина запаса хода будет меньше чем у ВКМ с дизельным двигателем и автоматизированной ГМТ. Для устранения этого недостатка необходимо ЭМТ разрабатывать и внедрять на ВКМ совместно с ГСУ [2].

2. Анализ последних достижений и публикаций. Из источников информации зарубежных компаний BAE Systems Haggland, General Dynamics Land Systems, Oshkosh Truck, которые выполняют разработки в направлении внедрения гибридного электромеханического привода на ВКМ, известно, что ГСУ с ЭМТ позволяет уменьшить расход моторного топлива и увеличить запас хода ВКМ до 35% путем поддержания работы дизельного двигателя в режиме минимального удельного расхода топлива на всех режимах движения ВКМ и использования рекуперированной кинетической энергии ВКМ, которая сохраняется в накопителе электрической энергии (НЭЭ) во время выполнения торможения машины [3].

Кроме того, ГСУ с ЭМТ позволяют ВКМ мгновенно начинать движение по тревоге в холодное время года на НЭЭ с последующим выполнением пуска дизельного двигателя после его подогрева во время движения ВКМ. Также выполнять движение ВКМ на НЭЭ в скрытном режиме (с более низким уровнем шума и тепловыделения в сравнении с работающим дизельным двигателем) на небольшие расстояния до 10 км [4].

В дополнение к достоинствам применения ГСУ с ЭМТ на ВКМ следует отметить возможность установки на ВКМ мощных потребителей электрической энергии и возможность применения ГСУ как мобильной дизель-электрической станции. Это актуально для выполнения полевых ремонтов ВКМ. На борту ВКМ с ГСУ и ЭМТ можно получить источник электрической энергии от 100 до 300 кВт в зависимости от мощности применяемых дизельного двигателя и тягового генератора.

Несмотря на ряд преимуществ внедрения ГСУ с ЭМТ на ВКМ данная конструкция в Украине не разработана до настоящего времени по причине отсутствия подходящей элементной базы тягового электрооборудования с требуемыми техническими характеристиками для ВКМ. Это небольшой массы и габаритных размеров тяговые электродвигатели (ТЭД) номинальной механической мощностью 30..50 кВт и крутящим моментом более 200 Н·м, компактные силовые блоки управления ТЭД (инвертеры), НЭЭ с большой плотностью концентрации электрической энергии и большим количеством циклов заряда-разряда.

В настоящее время компании Enstroj (Словения), Yasa Motors Ltd (Англия), UniTek Industrie Electronic (Германия), Yunasko (Англия), Golden Motor (Китай) предлагают ТЭД, инвертеры, НЭЭ соответственно, на основе которых возможно выполнить разработку ГСУ и ЭМТ для ВКМ [5-8]. Создание данной конструкции необходимо начинать с разработки электромеханического привода колес, мотор-генератора, НЭЭ и их общей системы управления. Сложность выполнения разработки ЭМТ и ГСУ для ВКМ заключается в том, что тяговое электрооборудование требует применения жидкостной системы охлаждения, обеспечения герметизации мест установки от попадания воды или другой жидкости, защиты от воздействия мощных электромагнитных импульсов и механических повреждений. Также требуется выполнение мероприятий по защите экипажа от воздействия электромагнитных полей и поражения электрическим током.

Таким образом, для выполнения разработки ГСУ с ЭМТ на ВКМ необходимо решение научно-технических задач построения общей структуры данной конструкции и определения направлений дальнейших работ по разработке составных частей ГСУ с ЭМТ для ВКМ.

3. Цель и постановка задачи. Целью настоящей работы является проведение анализа характеристик тягового электрооборудования, подходящего для вы-

полнения разработки ГСУ с ЭМТ на ВКМ, определение общей структуры построения конструкции и направлений дальнейших работ по разработке составных частей ГСУ с ЭМТ для ВКМ.

4. Выбор схемы построения ГСУ с ЭМТ для ВКМ и анализ характеристик тягового электрооборудования. В настоящее время на транспортных машинах применяют ГСУ с ЭМТ, выполненные по последовательной, параллельной и смешанной схемам [9]. Для ВКМ наиболее подходящей является последовательная схема построения. Это связано с тем, что ВКМ являются полноприводными. Последовательная схема ГСУ с ЭМТ имеет наиболее простую конструкцию механических передач и связей между ТЭД и ведущими колесами в сравнении с другими схемами, улучшает компоновочные возможности ВКМ благодаря отсутствию жестких механических связей между коленчатым валом дизельного двигателя и ведущими колесами, обеспечивает индивидуальный подвод мощности к каждому колесу и индивидуальное управление ею, что позволяет получить наилучшие показатели маневренности, проходимости и стабилизации движения.

Функциональная схема ГСУ с ЭМТ для полноприводной транспортной колесной машины с формулой 4x4 представлена на рис.1. Из рисунка следует, что ГСУ с ЭМТ по последовательной схеме построения состоит из дизельного двигателя с мотор-генератором, НЭЭ и блока управления зарядом-разрядом, электро-механического привода колес с индивидуальным подводом мощности к каждому колесу и общей системы охлаждения. Электро-механический привод ведущих колес включает в себя силовые блоки управления ТЭД (инвертеры), ТЭД и согласующие редукторы. Общее управление ГСУ с ЭМТ реализуется в контроллере верхнего уровня.

Данная структура построения ГСУ с ЭМТ позволяет поддерживать постоянно работу дизельного двигателя в режиме минимального удельного расхода топлива, так как его коленчатый вал механически не связан с ведущими колесами и отдает всю механическую энергию на тяговый генератор, который преобразует ее в электрическую энергию. Далее тяговый генератор подает электрическую энергию на силовые блоки управления ТЭД и блок управления зарядом-разрядом НЭЭ. В зависимости от режима движения ВКМ электрическая энергия от тягового генератора может поступать на ТЭД и НЭЭ, при излишнем количестве энергии для ТЭД, или только на ТЭД. При недостаточном количестве электрической энергии от тягового генератора ТЭД могут получить дополнительную энергию от НЭЭ. Также во время выполнения кратковременных остановок ВКМ, вся электрическая энергия от тягового генератора может поступать на заряд НЭЭ.

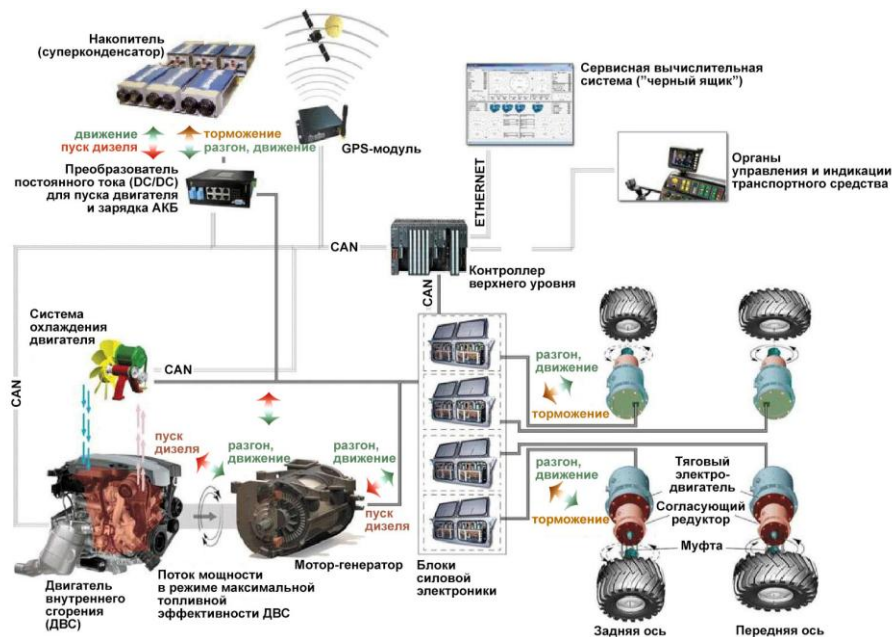


Рис.1. Функциональная схема ГСУ с ЭМТ по последовательной схеме построения

На первом этапе проектирования ГСУ с ЭМТ для ВКМ необходимо выбрать модель ТЭД и разработать электромеханический привод колес. Для этого был выполнен тяговый расчет ВКМ с колесной формулой 4x4

массой 10 т и колесной формулой 8x8 массой 25 т и 30 т по методике, которая представлена в источнике [10]. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты тягового расчета ВКМ при условии движения на подъем в 30° и выполнении движения с максимальной скоростью 110 км/ч на прямой дороге

Масса ВКМ, т / колесная формула	Значения при движении на подъем с углом $\alpha = 30^\circ$, $f = 0,045$ и $v_m = 5$ км/ч				Значения при движении по прямой дороге $\alpha = 0^\circ$, $f = 0,015$ и $v_m = 110$ км/ч			
	P_k , Н	M_k , Н·м	N_k , кВт	$N_{ТЭД}$, кВт	P_k , Н	M_k , Н·м	N_k , кВт	$N_{ТЭД}$, кВт
10 / 4x4	13206	6999	18,4	20	1069,2	566,7	32,7	35,5
25 / 8x8	16507	8748,8	22,9	24,9	1042,5	552,5	31,85	34,6
30 / 8x8	19808	10498	27,5	29,9	1134,4	601,2	34,7	37,7

где P_k – сила тяги на одном колесе, Н; M_k – крутящий момент на одном колесе, Н·м; N_k – мощность на одном колесе, Вт; $N_{ТЭД}$ – механическая мощность на валу ТЭД, Вт.

При выполнении расчета радиус ведущего колеса был принят 0,53 м, КПД согласующего редуктора между ТЭД и колесом 0,92.

Из анализа результатов вычислений в таблице 1 следует, что на колесах ВКМ требуется наибольшая величина мощности для поддержания максимальной скорости движения 110 км/ч в сравнении с величиной мощности, необходимой для выполнения движения на подъем в 30° со скоростью 5 км/ч.

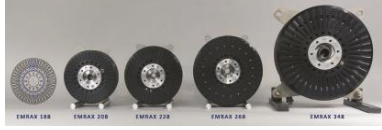

Величина механической мощности ТЭД 35,5 кВт, необходимая для движения с максимальной скоростью 110 км/ч ВКМ 4x4 массой 10т, также достаточна для ВКМ 8x8 массой 25 т. Следовательно, ТЭД номинальной механической мощностью 36 кВт можно применить для разработки электрического привода колес на ВКМ с колесной формулой 4x4 и 8x8. Однако, поскольку масса проектируемой ВКМ с ГСУ и ЭМТ может увеличиться, то необходимо выбирать ТЭД номинальной механической мощностью не менее 40 кВт,

что обеспечит выполнение требований к движению ВКМ 8x8 массой 30 т.

Крутящий момент, развиваемый ТЭД, должен быть более 200 Н·м. Это позволит уменьшить габаритные размеры и массу согласующего редуктора.

В настоящее время перспективными ТЭД для создания электромеханического привода транспортных колесных машин являются вентильно-индукторные двигатели с независимым возбуждением [10]. Они имеют наименьшие значения массы и габаритных размеров в сравнении с другими видами ТЭД, высокие значения КПД и способны развивать большую величину крутящего момента. Данный вид ТЭД изготавливают компании Enstroj (Словения) и Yasa Motors Ltd (Англия). Их технические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики ТЭД компаний Enstroj и Yasa Motors Ltd

№ п/п	Параметр	Модель тягового электродвигателя				
		EMRAX228	EMRAX268	EMRAX348	YASA P400S	YASA750R
		 Enstroj			 Yasa Motors Ltd	
1	Номинальная механическая мощность, кВт	28..42	40..80	70..150	20..100	50..70
2	Пиковая механическая мощность в течение 30 с, кВт	100	220	290	160	200
3	Номинальный крутящий момент, Н·м	до 125	до 250	до 500	до 300	до 400
4	Пиковый крутящий момент в течение 30 с, кВт	240	500	1000	390	790
5	Максимальная частота вращения вала, мин ⁻¹	5000	4500	4000	8000	3250
6	Значение КПД, %	86..96			до 96	до 95
7	Диапазон рабочей t, °C	- 40..+120			—	
8	Степень защиты	IP21/IP65			—	
9	Размер (диаметр/ширина), мм	228/86	268/91	348/107	305/81	368/98
10	Масса, кг	12,3	20,3	40	27	37

ТЭД компаний Enstroj и Yasa Motors Ltd имеют жидкостное охлаждение и могут быть выполнены со степенью защиты IP65. Это означает пыленепроницаемые с защитой от водных струй в любом направлении. Поскольку ВКМ должна преодолевать водные преграды и является плавающей машиной, то конструкция платформы ВКМ должна обеспечивать герметизацию мест установки ТЭД от попадания воды.

Также в результате анализа расчетов по определению требуемого передаточного числа согласующе-

го редуктора между ТЭД и колесами ВКМ [10] для обеспечения преодоления подъема 30° и движения с $V=110$ км/ч необходим согласующий редуктор с 2-мя передачами. Эти требования следует учитывать при выборе конструкции электромеханического привода колес.

Есть 3 варианта построения электромеханического привода колес для полноприводной колесной машины с ГСУ и ЭМТ по последовательной схеме. Они представлены на рис.2.

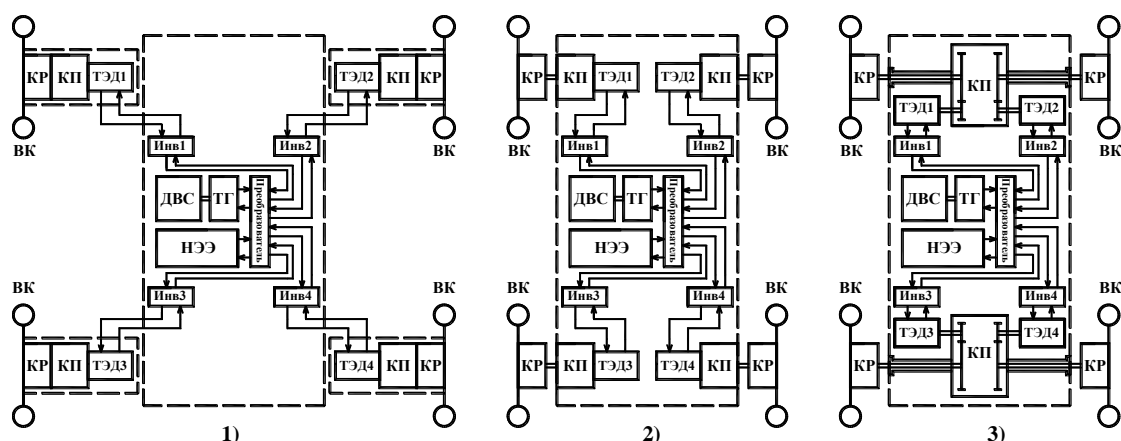


Рис.2. Варианты построения ГСУ с ЭМТ для полноприводной колесной машины 4x4, где ВК – ведущее колесо, КР – колесный редуктор, КП – коробка передач, ТЭД – тяговый электродвигатель, Инв1..4 – силовой блок управления ТЭД, ДВС – двигатель внутреннего сгорания, ТГ – тяговый генератор, НЭЭ – накопитель электрической энергии.

В 1-м варианте ТЭД устанавливается в колесе. Он наилучший с точки зрения выполнения компоновки колесной платформы для ВКМ. Позволяет освободить

объем внутри корпуса платформы. Однако реализация его требует разработки сложной конструкции мотор-колеса из-за необходимости обеспечения гер-

метизации места установки ТЭД от попадания воды, защиты электрических цепей подключения ТЭД от воздействия мощного электромагнитного импульса, выполнения 2-х ступенчатой КП, а также подвода жидкостного охлаждения к ТЭД.

Во 2-м и 3-м вариантах ТЭД устанавливаются внутри корпуса платформы ВКМ. Эти два варианта проще в реализации конструкции, обеспечивающей выполнение требований по установке ТЭД. Поскольку корпус колесной платформы выполняется герметичным и является защитным экраном от воздействия мощного электромагнитного импульса. Кроме того корпус платформы защищает все ТЭД от попадания снарядов, осколков и подрыва на mine ведущего колеса.

Отличаются 2-й и 3-й варианты исполнения конструкции КП и их количеством. В 3-м варианте КП должна обеспечить 2 отдельно передаваемых потока мощности от 2-х ТЭД к 2-м ВК в едином корпусе и иметь две передачи для каждого потока мощности. Это позволит сохранить индивидуальное управление передаваемой мощности на каждое колесо ВКМ. Такое решение обеспечивает уменьшение общей массы всех КП, а

также уменьшение количества приводов переключения передач в 2 раза.

Принцип действия КП, соединяющей ТЭД и КР, может быть аналогичный по функционированию раздаточной коробки. Поскольку переключение передачи со 2-й на 1-ю и с 1-й на 2-ю можно выполнять при остановленной машине перед преодолением препятствия или сложного участка дороги и после преодоления его соответственно. В остальных случаях выполняется движение ВКМ на 2-й передаче.

Также из рис. 2 видно, что конструкция КП и структурные схемы передачи мощности от ТЭД на ВК могут применяться для построения колесных платформ 6х6 и 8х8.

Для определения требуемых величин передаточных чисел в КП, обеспечивающих преодоление подъема в 30° и движение со скоростью 110 км/ч при условии применения колесных редукторов изделий Дозор-Б и БТР-4Е, был проведен расчет в соответствии с методикой [10]. Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета передаточных чисел 1-й и 2-й передач в КП

Модель ТЭД, номинальная мощность	Для машины с колесной формулой 4х4 массой 10 т и $i_{кр} = 3,3636$		Для машины с колесной формулой 8х8 массой 25 т и $i_{кр} = 4,33$	
	$i_{КП1}$	$i_{КП2}$	$i_{КП1}$	$i_{КП2}$
EMRAX 228 28..42 кВт	18,293	2,423	17,76	1,67
EMRAX 268 40..80 кВт	9,15	2,182	8,88	1,652
EMRAX 348 70..150 кВт	4,573	1,696	4,441	1,284

Из анализа результатов вычислений в таблице 3 следует, что в случае применения ТЭД EMRAX 228 необходимо увеличивать передаточное число колесного редуктора $i_{кр}$ для уменьшения значения $i_{КП1}$. Значения $i_{КП1}$ для ТЭД EMRAX 268 и 348 допустимы.

Следующим этапом разработки ГСУ с ЭМТ для ВКМ является выбор тягового генератора (ТГ). Для ВКМ 4х4 массой до 10 т с двигателем Deutz BF04M1013FC мощностью 139,4 кВт потребуется ТГ мощностью 120 кВт. Для ВКМ 8х8 массой до 25 т с

двигателем Deutz BF6M1015CP мощностью 330 кВт потребуется ТГ мощностью 300 кВт.

ТГ можно построить на основе ТЭД EMRAX 268 или 348. Это позволит выполнить унификацию электрических машин, применяемых в конструкции ГСУ с ЭМТ, и реализовать конструкцию мотор-генератора, который обеспечит пуск дизельного двигателя, и будет вырабатывать электрическую энергию для работы ТЭД и заряда НЭЭ.

Компания Enstroj предлагает возможность последовательно соединить ТЭД на едином валу рис. 3.

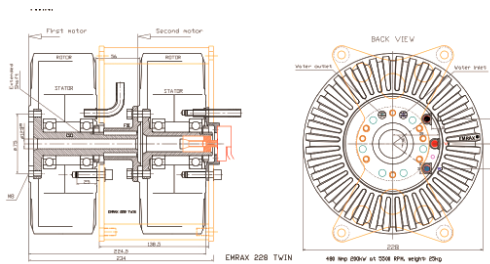
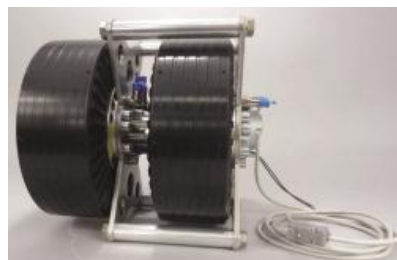


Рис.3 Последовательное соединение ТЭД EMRAX



Таким образом, ТГ мощностью 120 кВт может быть построен на основе 2-х ТЭД EMRAX 268 (при задании мощностного режима работы 60 кВт каждого ТЭД)

или одним ТЭД EMRAX 348. ТГ мощностью 300 кВт может быть построен на основе 2-х ТЭД EMRAX 348. Для обеспечения рабочей частоты вращения валов ТЭД по-

требуется согласующий редуктор с валом дизельного двигателя с повышающей передачей 0,3.

НЭЭ может быть построен на основе тяговых аккумуляторов НАС4830 компании Golden Motor [8]. Они представляют собой гибридный литий-железо-фосфатный аккумулятор и суперконденсатора. Один аккумулятор НАС4830 имеет напряжение 48 В, емкость 30 А·ч, непрерывный разрядный ток 100 А, максимальный разрядный ток 600 А в течение 10 с, количество циклов заряда-разряда более 3000, масса 21 кг.

Из расчета обеспечения автономного движения ВКМ (движение на НЭЭ) до 50 км для одного ТЭД

потребуется 15 аккумуляторов НАС4830, объединенных последовательно по 5 штук в ряд и 3 ряда аккумуляторов объединенных параллельно. Получаем НЭЭ 240 В x 90 А·ч для одного ТЭД.

В результате проведенного анализа технических характеристик тягового электрооборудования, выбранных последовательной схемы построения гибридного привода и структурной схемы электромеханического привода колес, структурная схема ГСУ с ЭМТ для ВКМ будет иметь вид на рис. 4.

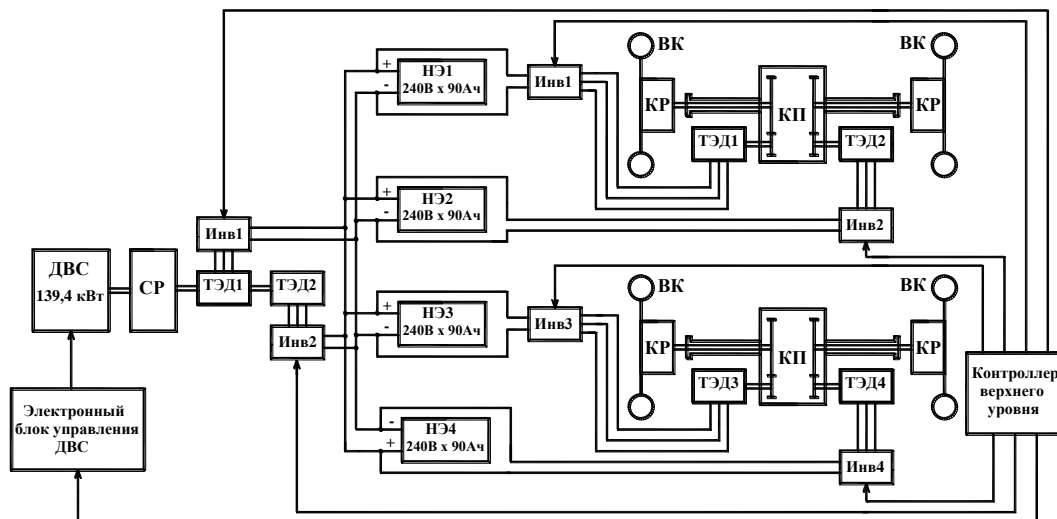


Рис. 4 Структурная схема ГСУ с ЭМТ для ВКМ 4x4

Из рис.4 следует, что разработанная конструкция КП, передающая мощность от двух ТЭД на два КП одной оси ВКМ, может быть применена для построения платформы 8x8.

В качестве силовых блоков управления ТЭД можно применить инвертеры ВАМОСАР D3 производства UniTek Industrie Electronic (Германия) [7].

Актуальной становится задача разработки контроллера верхнего уровня, который управляет работой инверторов, обеспечивает взаимодействие всего тягового электрооборудования и задает режимы работы ДВС.

Стоимость и масса тягового электрооборудования для разработки ГСУ с ЭМТ на ВКМ 4x4 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Стоимость и масса тягового электрооборудования для ГСУ с ЭМТ на ВКМ 4x4

Наименование	Стоимость 1-го компонента, грн	Стоимость одноименных компонентов, грн	Масса 1-го компонента, кг	Масса одноименных компонентов, кг
ТЭД EMRAX 268	177 762	6 ТЭД x 177 762 = 1 066 572	20,3	6 ТЭД x 20,3 = 121,8
Инвертор ВАМОСАР D3	68 750	6 инв. x 68 750 = 412 500	6,8	6 инв. x 6,8 = 40,8
Аккумулятор НАС4830	40 023	60 мод. x 40 023 = 2 401 380	21	60 мод. x 21 = 1260

Общая стоимость тягового электрооборудования для ГСУ с ЭМТ на ВКМ 4x4 составит 3 880 452 грн. Общая масса – 1423 кг.

Для ВКМ 8x8 общая стоимость и масса тягового электрооборудования будут приблизительно в два раза больше.

Проведем сравнение величин масс компонентов ГМТ изделий Дозор-Б, БТР-4 с компонентами ГСУ и ЭМТ для ВКМ 4x4 и 8x8. С этой целью рассмотрим таблицу 5.

Таблица 5 – Величины масс компонентов ГМТ изделий Дозор-Б, БТР-4 и ГСУ с ЭМТ для ВКМ 4х4 и 8х8

№ п/п	Наименование компонента и его масса, кг			
	Колесная платформа 4х4		Колесная платформа 8х8	
	ГМТ Дозор-Б	ГСУ с ЭМТ на EMRAX 268	ГМТ БТР-4Е	ГСУ с ЭМТ на EMRAX 268
1	АКП 150	СР+2ТЭД+2Инов. СР+54,2	АКП+СР 560	СР+4ТЭД+4Инов. СР+108,4
2	РК 145	4ТЭД+4Инов. 108,4	РК 390	8ТЭД+8Инов. 216,8
3	2 моста	2 КП	4 моста	4 КП
4	4 КР	4 КР	8 КР	8 КР
5	карданные валы 65	силовые электро- кабели	карданные валы 141	силовые электро- кабели
6	—	НЭЭ 1260	—	НЭЭ 2520

Массовые характеристики применяемых дизельных двигателей в таблице 5 не приводятся. Поскольку модели дизельных двигателей для ВКМ 4х4 и 8х8 с ГСУ и ЭМТ аналогичны моделям, которые устанавливаются на изделиях Дозор-Б и БТР-4.

В результате анализа величин масс в таблице 5 можно сделать вывод, что общая масса ГСУ с ЭМТ без НЭЭ будет приблизительно равной общей массе ГМТ для платформ 4х4 и 8х8. Существенную величину массы составляют НЭЭ. Если количество аккумуляторов НАС4830 уменьшить в 3 раза для обеспечения поддержания только оптимальных режимов работы дизельного двигателя и ЭМТ, то масса НЭЭ для платформы 4х4 будет составлять 420 кг, для платформы 8х8 – 840 кг. В этом случае ВКМ на НЭЭ сможет пройти до 16 км. Выбор требуемой величины емкости НЭЭ для проектируемой ВКМ будет определяться ее назначением, допустимой массой и требуемым расстоянием движения на НЭЭ.

Заключение.

Поскольку в настоящее время стоимость тягового электрооборудования для транспортных машин пока еще высокая, то разработка и внедрение ГСУ с ЭМТ на ВКМ в первую очередь будет оправдана на разведывательно-дозорных, ремонтно-эвакуационных машинах и боевых машинах с мощными потребителями электрической энергии на борту. В первом случае мы получим ВКМ с улучшенными тактико-техническими характеристиками и новыми возможностями, которые еще не имеет ни одна разведывательно-дозорная машина в Украинской армии. Во втором и третьем случаях общая стоимость ВКМ с ГСУ и ЭМТ может не измениться или незначительно увеличиться в сравнении с существующими машинами, поскольку применяемые энергоагрегаты на них будут не нужны, и их функции будет выполнять ГСУ. В дальнейшем, с развитием технологии изготовления компонентов гибридного привода для транспортных машин и их массовым производством, возможно снижение стоимости изготовления ГСУ и ЭМТ до уровня стоимости изготовления применяемых в настоящее время силовых установок и ГМТ на ВКМ.

Объединить рассмотренные выше направления внедрения ГСУ с ЭМТ на ВКМ возможно путем разра-

ботки бронированной колесной платформы. Разнообразные возможности такой платформы в дальнейшем обеспечат ее применение для создания семейства ВКМ нового поколения.

Выводы.

1. В настоящее время в Украине имеется доступная элементная база тягового электрооборудования для выполнения разработки ГСУ с ЭМТ на ВКМ.

2. Для удешевления внедрения ГСУ с ЭМТ на ВКМ следует разработать универсальную бронированную колесную платформу с ГСУ и ЭМТ.

3. Для решения научно-технической задачи разработки и внедрения ГСУ с ЭМТ на бронированной колесной платформе необходимо выполнить разработку:

- конструкции КП, обеспечивающей передачу мощности от двух ТЭД к колесным редукторам одной оси;
- согласующего редуктора между мотор-генератором и дизельным двигателем;
- системы охлаждения тягового электрооборудования;
- контроллера верхнего уровня системы управления ГСУ с ЭМТ.

Список литературы

1. Стримовский С.В. Перспективные направления повышения тягово-скоростных и топливо-экономичных характеристик военных машин / С.В. Стримовский // Механіка та машинобудування. – 2012. – №2. – С 165–177.
2. Стримовский С.В. Анализ трансмиссий современных легкобронированных колесных военных машин и их влияние на параметры подвижности / С.В. Стримовский, Ю.А. Слюсаренко, В.М. Соловьев // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2014. – №3. – С 97 – 107.
3. Военное применение гибридных электроприводов // Army Guide Monthly. – 2005. – №12(15) Декабрь. – С 16–18.
4. Поторока А.В. Применение электромеханических трансмиссий для машин класса бронетранспортеров / А.В. Поторока, Е.И. Решетило, Г.П. Гращенков, В.В. Липовец, В.В. Евтушенко, А.И. Бондарь // Механіка та машинобудування. – 2012. – №2. – С 152–158.
5. EMRAX motors/ generators – Режим доступа <http://www.enstroj.si/Electric-products> – Дата обращения: 05.07.2018.
6. YASA motors – Режим доступа <http://www.yasamotors.com> – Дата обращения: 05.07.2018.
7. BAMOCAR-D3 – Режим доступа <http://www.unitek-online.de> – Дата обращения: 05.07.2018.

8. BLDC безщеточные моторы постоянного тока и тяговые аккумуляторы – Режим доступа <http://goldenmotor.ua/product.html> – Дата обращения: 05.07.2018.
9. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: Учебное пособие / [С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов и др.] – М.: МГТУ «МAMI», 2007. – 71 С.
10. Стримовский С.В. Выбор тягового электродвигателя для проектирования электрической трансмиссии на легкобронированные колесные военные машины / С.В. Стримовский // Механика та машинобудування. – 2017. – №1. – С 145–155.
4. Potoroka A.V. Use of electromechanical transmissions for the armored carrier / A.V. Potoroka, Ye.I. Reshetilo, G.P. Grashenkov, V.V. Lipovec, V.V. Evtushenko, A.I. Bondar // Механика та машинобудування. – 2012. – №2. – P 152–158.
5. EMRAX motors/ generators – Available at <http://www.enstroj.si/Electric-products> – Accessed: 05.07.2018.
6. YASA motors – Available at <http://www.yasamotors.com> – Accessed: 05.07.2018.
7. BAMOCAR-D3 – Available at <http://www.unitek-online.de> – Accessed: 05.07.2018.
8. BLDC motors and traction accumulators – Available at <http://goldenmotor.ua/product.html> – Accessed: 05.07.2018.
9. Structural schemes vehicles hybrid power units: Teaching aid / [S.V. Bahmytov, A.L. Karunin, A.V. Krutashov and other] – М.: МГТУ «МAMI», 2007. – 71 P.
10. Strimovskiy S.V. The choice drive motor for designing electrical transmission on easy-armour wheeled military vehicles vehicles / S.V Strimovskiy // Механика та машинобудування. – 2017. – №1. – P. 145–155.

References (transliterated)

1. Strimovskiy S.V. Advanced direction increase tractive, velocity and fuel-efficient characteristics military vehicles / S.V Strimovskiy // Механика та машинобудування. – 2012. – №2. – P. 165–177.
2. Strimovskij S.V. The analysis of transmissions modern easy-armour wheel military vehicles and their influence on mobility parameters / S.V Strimovskiy, J.A. Slijusarenko, V.M. Solovjov // Integrovani tehnologii ta energozberegenia . – 2014. – №3. – P. 97–107.
3. Military application hybrid electrodrive // Army Guide Monthly. – 2005. – №12(15) December. – P. 16–18.

Поступила (received) 18.09.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Стримовський Сергій Вікторович (Стримовский Сергей Викторович, Strimovskiy Sergey Viktorovich) – кандидат технічних наук, заступник начальника відділу ДП «ХКБМ», м. Харків, Україна.